

# ハツ場ダム建設事業の検証に係る検討 「堆砂計画」

平成23年11月  
関東地方整備局

# 1. 近傍類似ダムの堆砂実績による比流砂量の推定

## 1.1 近傍類似ダムの選定

「多目的ダムの建設」には、「近傍類似ダム」の定義は明示されていないが、本検討では「当該ダムの近傍（概ね半径 30km 圏内）に位置し、流域を構成する地質として、ハッ場ダム流域に広く分布する第四紀噴出岩類（第四紀火山噴出物及び火山碎屑岩・火山岩類）を有するダム」を近傍類似ダムとした。また、100 年間の計画堆砂量を検討するため、近傍類似ダムは堆砂量及び流況データが 10 年以上整備されていることが望ましい。

### (1) 近傍類似ダムの候補の抽出

ハッ場ダム周辺のダム位置図を図 1.2 に示す。近傍類似ダムの候補は、ハッ場ダムの近傍で気候が類似し、かつ、ハッ場ダム流域と類似の地質が分布すると考えられる範囲を半径 30km 程度の圏内と想定して、表 1.1 に示す 15 ダムを抽出した。

なお、ハッ場ダムの半径 30km 程度の圏内は、気象予報区（気象庁）の「吾妻地域」を中心とした地域と同程度の範囲である（図 1.1）。



図 1.1 群馬県の気象予報区

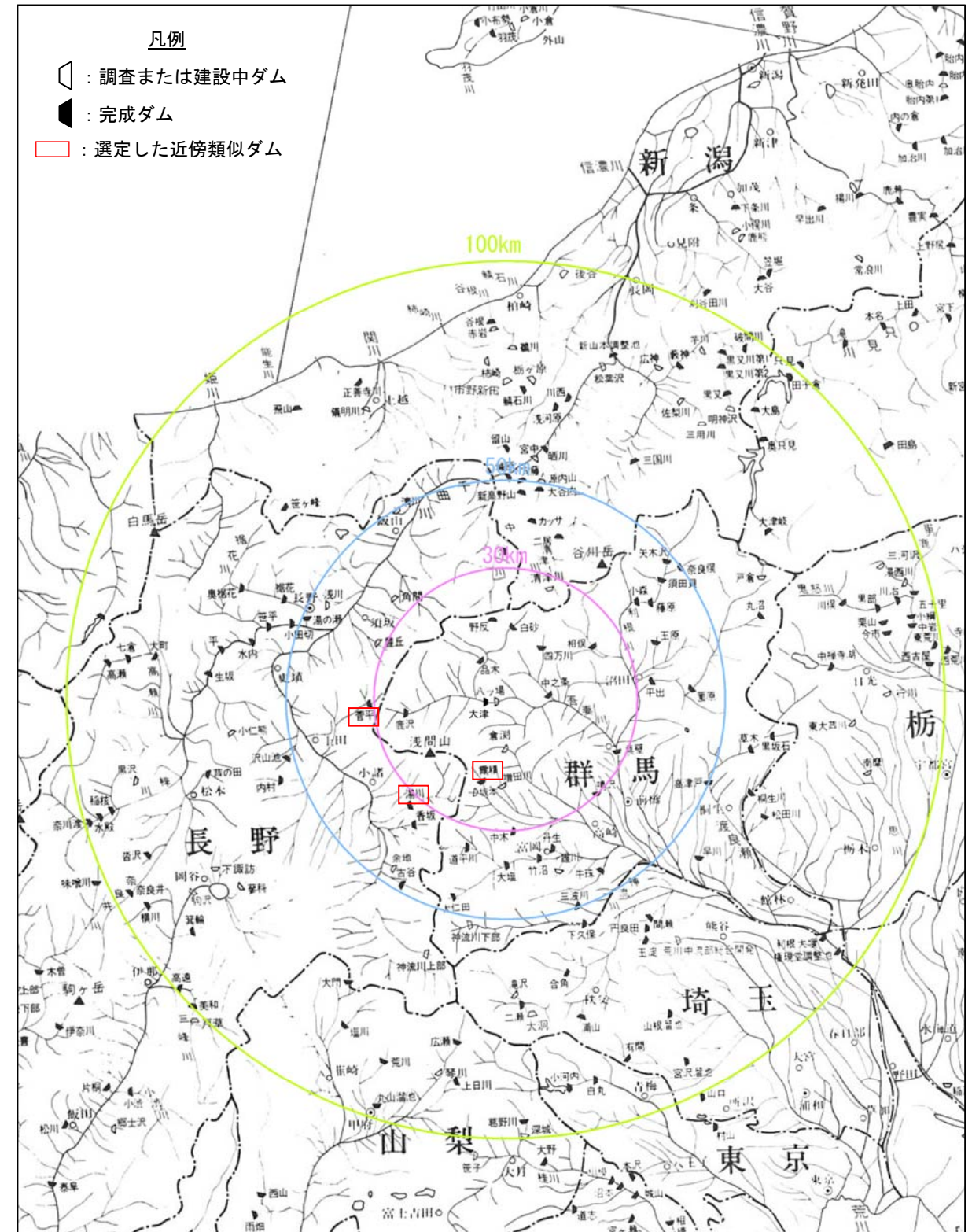


図 1.2 ハッ場ダム近傍のダム位置図（縮尺 1 : 1,500,000）

(2) 近傍類似ダムの選定

前項で抽出した近傍類似ダムの候補（15ダム）から、以下の点に留意して3ダム（霧積・湯川・菅平）を選定した（表 1.1、表 1.2 中の■）。

- ① 東京電力の鹿沢ダムおよび真壁ダム、群馬県の鳴沢ダムは、流域面積が1～2.8km<sup>2</sup>と小さいことから参考としない。
- ② 東京電力の大津ダム、白砂ダムについては、竣工年が古く貯水容量が小さいため、堆砂データが蓄積される以前に満砂状態となっていることから参考としない。
- ③ 野反ダム、相俣ダム、中之条ダム、四万川ダム、中木ダムは、流域の主体をなす地質がハッ場ダムとは異なるため、近傍類似ダムとして参考としない。
- ④ 香坂ダムは、農地防災を目的としたダムで、貯水池の運用形態が常時放流とされており、土砂が捕捉されにくい施設であることから、近傍類似ダムとして参考としない。
- ⑤ 品木ダムは、堆砂に河川水の中和処理に伴う生成物を含み、流域起源（土砂）による堆砂量の把握が困難なため参考としない。

表 1.1 ハッ場ダムより半径 30km 程度の圏内に位置するダム（近傍類似ダムの候補）

都道府県	ダム名	目的※1	竣工年	流域面積※2 (km <sup>2</sup> )	事業者	総貯水容量 (千m <sup>3</sup> )	有効貯水容量 (千m <sup>3</sup> )	実績比堆砂量※3 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)
群馬県	ハッ場	FNWPI	—	711.4 (673.6)	関東地方整備局	107,500	90,000	—
群馬県	中之条	P	1959	86.2 (57.8)	群馬県	1,180	250	139
群馬県	品木	NP	1965	30.7	関東地方整備局	1,668	1,273	1,045※4
群馬県	四万川	FNWP	1999	28.4	群馬県	9,200	8,600	500
群馬県	白砂	P	1940	64.5	東京電力	630	97	—
群馬県	大津	P	1931	451	東京電力	108	72	—
群馬県	野反	P	1956	9.3	東京電力	28,700	28,400	552
群馬県	相俣	FNP	1959	110.8	関東地方整備局	25,000	20,000	269
群馬県	霧積	FN	1975	20.4	群馬県	2,500	2,100	717
群馬県	鹿沢	P	1927	2.8	東京電力	5,628	5,015	2,506
群馬県	中木	W	1959	13.1	安中市上下水道部	1,600	1,350	887
群馬県	鳴沢	A	1949	2.0	群馬県	1,283	1,100	—
群馬県	真壁	P	1928	1,737 (1.0)	東京電力	1,143	700	—
長野県	湯川	FN	1977	147.2	長野県	3,400	2,700	201
長野県	香坂	F	1972	14.0	長野県	1,050	870	403
長野県	菅平	AWP	1968	32.2	長野県	3,451	3,242	290

※1：F：洪水調節・農地防災、N：不特定用水、河川維持用水、A：かんがい特定（新規）かんがい用水、

W：上水道用水、I：工業用水、P：発電

※2：流域面積は、一部 GIS 等により修正している。（ ）内は、流域内にあるダム等の流域面積等を除外した面積。

※3：次式により算出。

比堆砂量＝実績堆砂量（掘削・浚渫土砂量を含む）／流域面積／経過年数（m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年）

※4：中和生成物を含む。

表 1.2 ハッ場ダムの近傍類似ダム比較検討表

注) 表 1.1 のうち、堆砂の進行が確認されているダムについて整理

ダム名	ハッ場ダム	品木ダム	霧積ダム	湯川ダム	菅平ダム	相俣ダム	四万川ダム	中之条ダム	中木ダム	
竣工年	—	1965 (S40)	1975 (S50)	1977 (S52)	1968 (S43)	1959 (S34)	1999 (H11)	1959 (S34)	1959 (S34)	
管理者	関東地方整備局	関東地方整備局	群馬県	長野県	長野県	関東地方整備局	群馬県	群馬県	安中市上下水道部	
目的※1	FNWPI	NP	FN	FN	AWP	FNP	FNWP	P	W	
ダム型式	重力式コンクリート	重力式コンクリート	重力式コンクリート	重力式コンクリート	重力式コンクリート	重力式コンクリート	重力式コンクリート	アーチダム	重力式コンクリート	
流域面積	711.4 km <sup>2</sup> (品木等除く:673.6 km <sup>2</sup> )	30.7 km <sup>2</sup>	20.4 km <sup>2</sup>	147.2 km <sup>2</sup>	32.2 km <sup>2</sup>	110.8 km <sup>2</sup>	28.4 km <sup>2</sup>	85.1 km <sup>2</sup>	13.1 km <sup>2</sup>	
総貯水容量	107,500 千 m <sup>3</sup>	1,668 千 m <sup>3</sup>	2,500 千 m <sup>3</sup>	3,400 千 m <sup>3</sup>	3,451 千 m <sup>3</sup>	25,000 千 m <sup>3</sup>	9,200 千 m <sup>3</sup>	1,180 千 m <sup>3</sup>	1,600 千 m <sup>3</sup>	
計画堆砂量 (計画比堆砂量)	17,500 千 m <sup>3</sup> (245 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)	395 千 m <sup>3</sup> (256 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)	400 千 m <sup>3</sup> (196 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)	700 千 m <sup>3</sup>	209.4 千 m <sup>3</sup>	2,550 千 m <sup>3</sup>	600 千 m <sup>3</sup>	710 千 m <sup>3</sup>	250 千 m <sup>3</sup>	
実績堆砂量※2	—	1,421 千 m <sup>3</sup> (中和生成物含む)	497 千 m <sup>3</sup> (S51~H21)	917 千 m <sup>3</sup> (S53~H21)	382 千 m <sup>3</sup> (S43~H21)	1,490 千 m <sup>3</sup> (S34~H21)	142 千 m <sup>3</sup> (H12~H21)	542 千 m <sup>3</sup> (S34~H17)	581 千 m <sup>3</sup> (S54~H21)	
堆砂率	—	360 %	124 %	131 %	182 %	58 %	24 %	67 %	232 %	
経過年数(H21)	—	44 年	34 年	32 年	41 年	50 年	10 年	50 年	50 年	
実績比堆砂量	—	1,045.2 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年 (中和生成物含む)	716.6 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年	201.0 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年	289.7 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年	269.0 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年	500.0 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年	138.5 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年	887.0 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年	
回転率※3	10.6 回/年	32.1 回/年	31.3 回/年	167.9 回/年	9.6 回/年	11.9 回/年	28.7 回/年	127.2 回/年	4.9 回/年	
流域特性	平均標高※4	1,312m	1,482m	1,004m	1,102m	1,482m	1,099m	1,237m	1,060m	742m
	平均起伏量※5	246m	248m	301m	167m	230m	398m	366m	356m	388m
	斜面勾配割合※6	ハッ場 	品木 	霧積 	湯川 	菅平 	相俣 	四万川 	中之条 	中木 
	地質構成割合※7	ハッ場 	品木 	霧積 	湯川 	菅平 	相俣 	四万川 	中之条 	中木 
	土地利用割合※8	ハッ場 	品木 	霧積 	湯川 	菅平 	相俣 	四万川 	中之条 	中木 
	年降水量(mm)※9	1,304	1,675	1,680	1,016	783	1,268	1,751	1,293	1,325

※1 F: 洪水調節・農地防災、N: 不特定用水、河川維持用水、A: かんがい特定(新規)かんがい用水、W: 上水道用水、I: 工業用水、P: 発電

※2 掘削・浚渫土砂量を含めた値

※3 回転率=年平均総流入量/常時満水位以下または夏期制限水位以下の容量(堆砂容量を含む)

※4 国土数値情報「標高・傾斜度メッシュ」(国土交通省)を用いて、流域の平均値を算定

※5 国土数値情報「標高・傾斜度メッシュ」(国土交通省)を用いて、流域の平均値を算定

※6 国土数値情報「標高・傾斜度メッシュ」(国土交通省)を用いて、流域の斜面勾配割合を算定

※7 「シームレス地質図」((独)産業技術総合研究所)を用いて、流域に分布する各地質区分の面積割合を算定

※8 国土数値情報「土地利用メッシュ平成18年度」(国土交通省)を用いて、流域の斜面勾配割合を算定

※9 ダム地点もしくはダム地点に近い観測所の雨量を用いて算定

## 1.2 近傍類似ダム堆砂データの整理

「1.1 近傍類似ダムの選定」で選定した近傍類似ダムについて、1/1,000年確率値まで考慮した比堆砂量の期待値を算定した。また、各ダム貯水池における土砂捕捉率を推定し、比堆砂量(期待値)から比流砂量(期待値)を算定した。

### (1) 近傍類似ダムの実績堆砂量

近傍類似ダムの実績比堆砂量を表 1.3 に、堆砂量の経年変化を図 1.3 に示す。

表 1.3 実績堆砂量の整理結果

ダム名	実績比堆砂量* (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)	算定期間	データ数
霧積	716.6	S51 ~ H21	34
湯川	201.0	S54 ~ H21	31
菅平	289.7	S43 ~ H21	41

※実績比堆砂量=実績堆砂量(掘削・浚渫土砂量を含む)/流域面積/経過年数

### (2) 年堆砂量の確率評価(比堆砂量(期待値)の算出)

ダムによって観測期間が異なる(気象条件による影響の大きさが異なる)ことから、近傍類似ダムの実績堆砂量を一律に評価するために、確率水文学の算定と同様に、確率評価により比堆砂量の期待値を求めることとした。計算にあたっては、「多目的ダムの建設」及び下記の文献を参考に、公開ソフトである水文統計ユーティリティ(財)国土技術開発センター)を用いた。

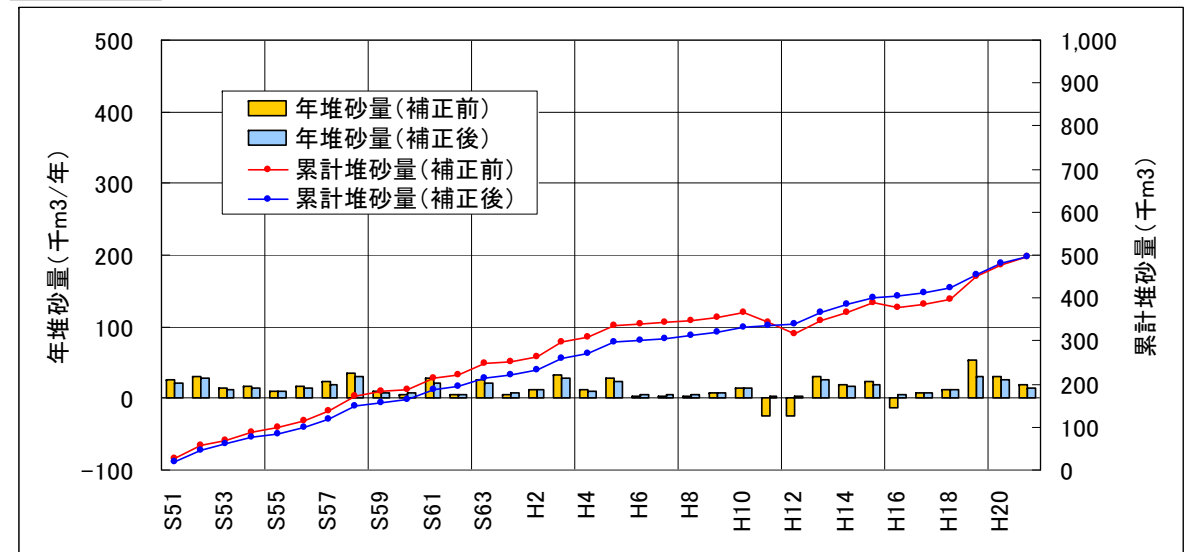
#### 【参考文献】

- ①「年堆砂量変動の確率評価」(ダム技術 No.196, 2003.1)
- ②「水文統計ユーティリティを用いた年堆砂量変動の確率評価」(ダム技術 No.206, 2003.11)
- ③「土砂管理分科会報告書-貯水池の土砂動態と土砂制御工法-」(大ダムNo.212, 2010.7)

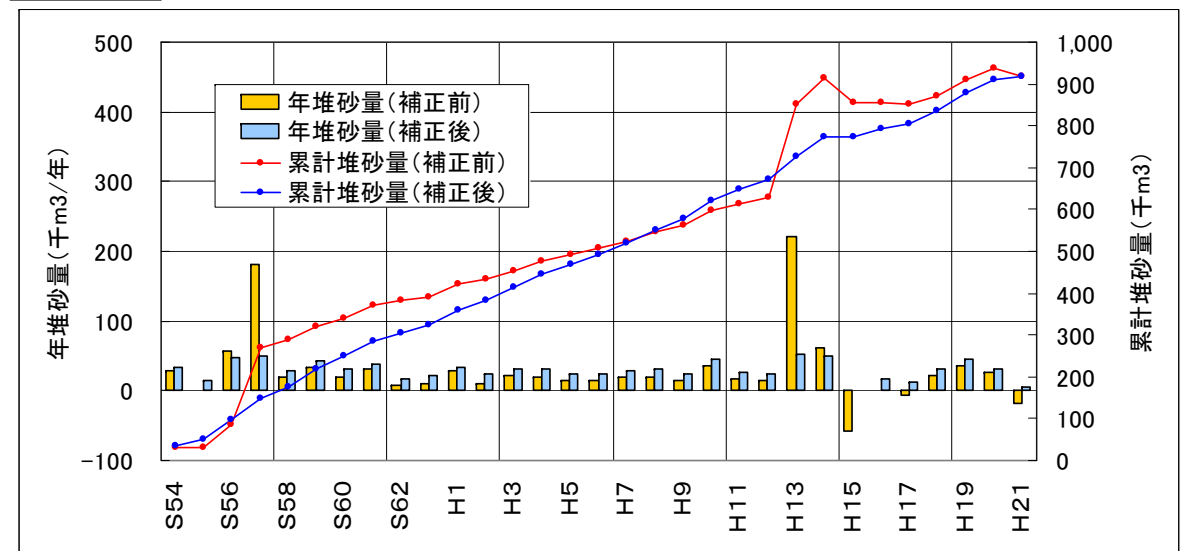
一方、各ダムの年堆砂量には、0m<sup>3</sup>より小さい負の値が認められるが、マイナスデータの主な発生要因は計測上の誤差と考えられる(図中の年堆砂量(補正前))。これら負の値を含むデータについては、適切な確率評価が困難であるため、(社)日本大ダム会議の土砂管理分科会において検討された手法(上記参考文献③)にしたがって、確率評価に用いる年堆砂量データを算定した。

この手法は、計測誤差が正規分布に従うものとして、累計堆砂量に変化を与えることなく、データがすべて0m<sup>3</sup>以上の分布となるように、年堆砂量を補正するものである(図 1.3 中の年堆砂量(補正後))。

#### 霧積ダム



#### 湯川ダム



#### 菅平ダム

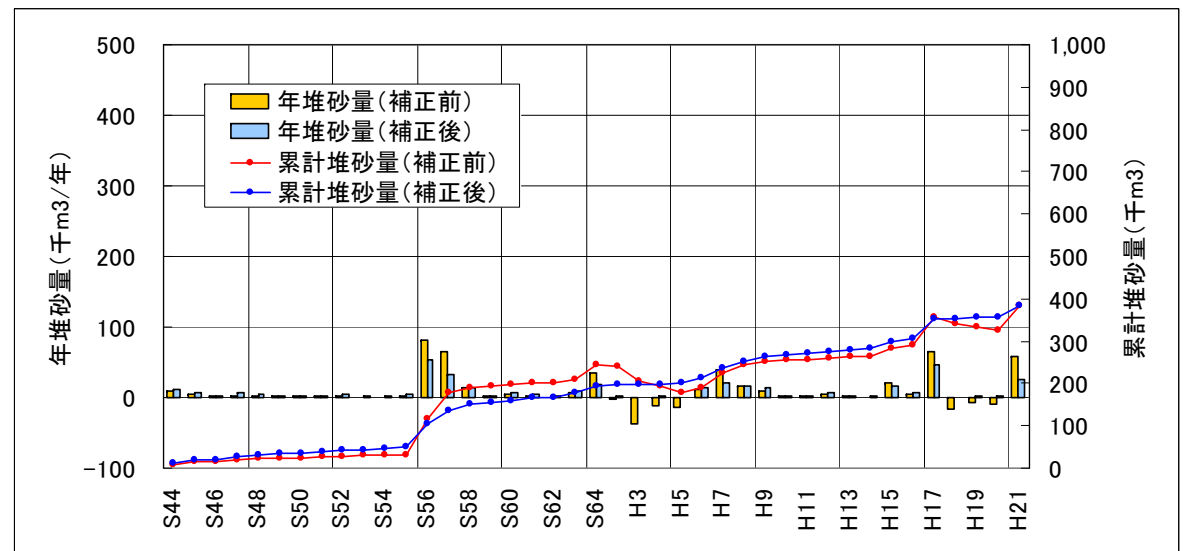


図 1.3 堆砂量の経年変化(補正前・補正後)

水文統計ユーティリティによる計算の結果、表 1.4 に示す確率分布モデルのうち適合度が最も高い (SLSC\*値が最小となる) モデルによる確率値を用いて、1/1,000 年確率値まで考慮した年堆砂量の期待値を算定した (図 1.4)。また、この期待値を流域面積で除して比堆砂量 (期待値) を求めた。

計算結果を表 1.5 に示す。各ダムの比堆砂量 (期待値) は、201.1~730.4m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年である。

※SLSC 値 (標準最小二乗基準)

確率分布モデルに対する適合度判定の指標の一つ。「年堆砂量変動の確率評価」(ダム技術No.196, 2003.1) によれば、「0.05 程度以下を目安にダムごとに判断する」とされている。

表 1.4 水文統計ユーティリティで用いる確率分布モデル

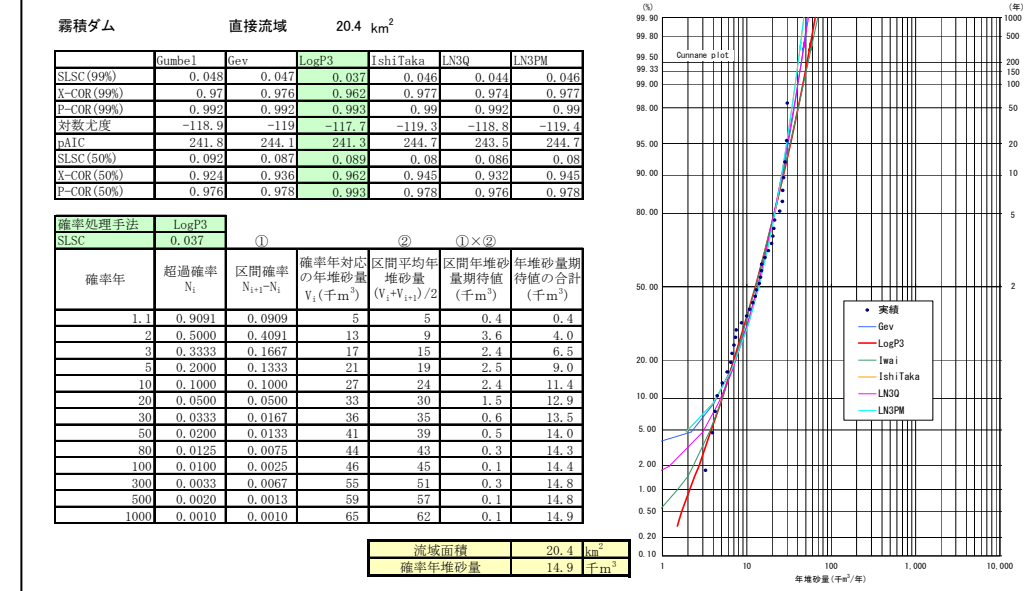
	確率分布モデル	略称
毎年値分布	指数分布 (L 積率法)	Exp
	グンベル分布 (L 積率法)	Gumbel
	平方指数型最大値分布	SQRTET
	一般化極値分布	Gev
	対数ピアソンⅢ型分布 (実数空間法)	LP3Rs
	対数ピアソンⅢ型分布 (対数空間法)	LogP3
	岩井法	Iwai
	石原・高瀬法	IshiTaka
	対数正規分布 3 母数 (クォンタイル法)	LN3Q
	対数正規分布 3 母数 (積率法)	LN3PM
	対数正規分布 2 母数 (L 積率法)	LNLM
	対数正規分布 2 母数 (積率法)	LN2PM

表 1.5 確率計算結果一覧

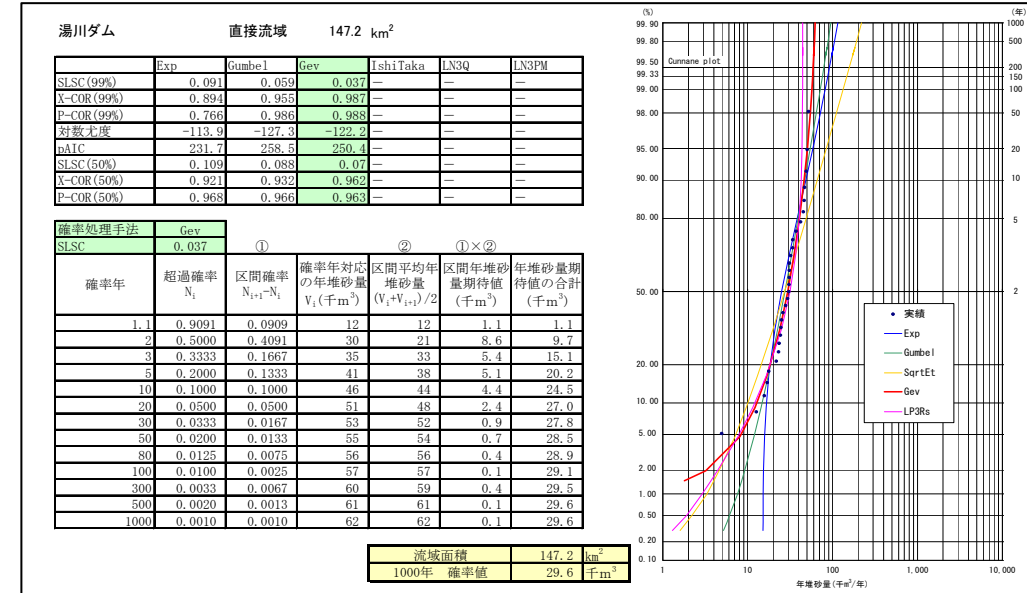
ダム名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	確率分布モデル	SLSC値	プロットング ポジション 定数*	データ数	年堆砂量 期待値 (千m <sup>3</sup> )	比堆砂量 (期待値) (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)
				α			
霧積ダム	20.4	LogP3	0.037	0.4	34	14.9	730.4
湯川ダム	147.2	Gev	0.037	0.4	31	29.6	201.1
菅平ダム	32.2	LogP3	0.030	0.4	41	10.1	313.7

※本検討で用いた「水文統計ユーティリティ」では、プロットングポジション公式としてCunnane式を採用している。

霧積ダム



湯川ダム



菅平ダム

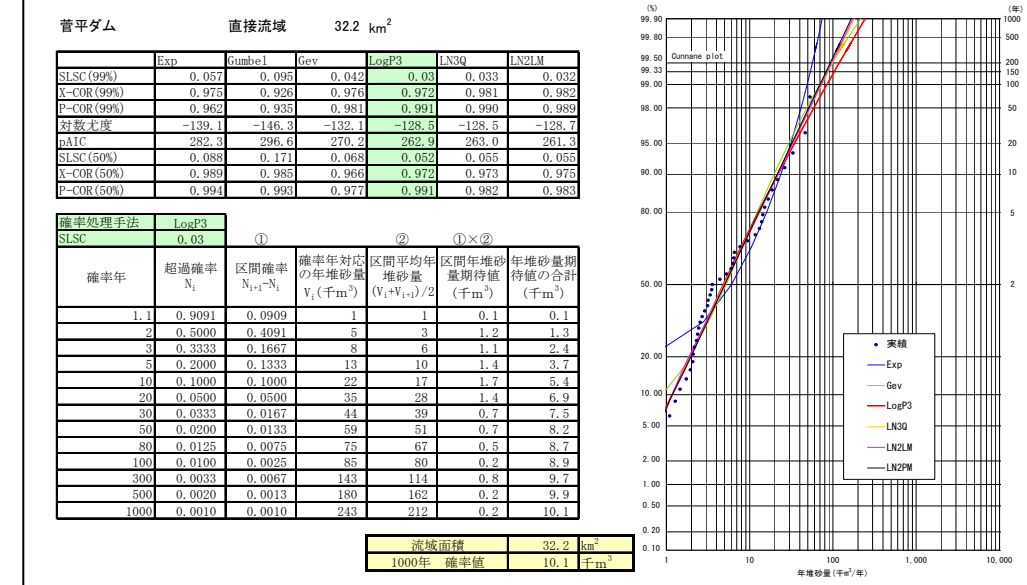


図 1.4 確率計算結果図

(3) 比流砂量（期待値）の算定

貯水池への流入土砂のうち、一部はダム下流へ流下するが、貯水池内に沈降・堆積したものの累計が堆砂量である。一般的に、堆砂量／流入土砂量は貯水池における土砂の「捕捉率」と呼ばれる。捕捉率は、貯水池の回転率（平均年総流入量／貯水容量）の影響を大きく受けると考えられる。

近傍類似ダムとハツ場ダムとでは、ダムや貯水池の規模が異なるため、この捕捉率も異なると考えられる。そこで、各ダムの捕捉率の違いを考慮し、比堆砂量（期待値）から比流砂量（期待値）を算定する。

1) 各ダムの年総流入量と貯水池の回転率

各ダム貯水池の回転率は、「多目的ダムの建設」を参考に、平均年総流入量と貯水容量（総貯水容量－洪水調節容量）から、次式により算定した（表 1.6）。

$$\text{貯水池の回転率} = \text{平均年総流入量} \div (\text{総貯水容量} - \text{洪水調節容量})$$

表 1.6 各ダムの貯水池回転率

ダム名	総貯水容量 (千m <sup>3</sup> )	洪水調節容量 (千m <sup>3</sup> )	平均年 総流入量 (千m <sup>3</sup> )	データ期間(堆砂 実績使用年数)	回転率	1/回転率
霧積	2,500	1,400	34,390	S51～H21	31.3	0.032
湯川	3,400	2,450	159,495	S54～H21	167.9	0.006
菅平	3,451	—	33,684	S43～H21	9.8	0.102

※貯水池回転率＝年平均総流入量／常時満水位以下または夏期制限水位以下の容量(堆砂容量を含む)

2) 捕捉率の算定方法

貯水池の捕捉率については、Brune 曲線がよく知られている（図 1.5）。しかし、この Brune 曲線は広大な流域面積を有する米国ダムの 44 貯水池の調査結果を用いて検討されたものであり、これらダム貯水池への流入土砂は、ウォッシュロードと呼ばれる細粒分が主体と考えられる。

本検討においては、流砂のうちウォッシュロード分に対してのみ Brune 捕捉率を適用し、次式により捕捉率を算定することとした。

なお、流入する粗粒分（ウォッシュロード以外）については、100%貯水池に堆積するものと想定した。

$$\text{捕捉率} = (1 - \text{ウォッシュロードの割合}) + \text{ウォッシュロードの割合} \times \text{Brune 捕捉率 (平均)}$$

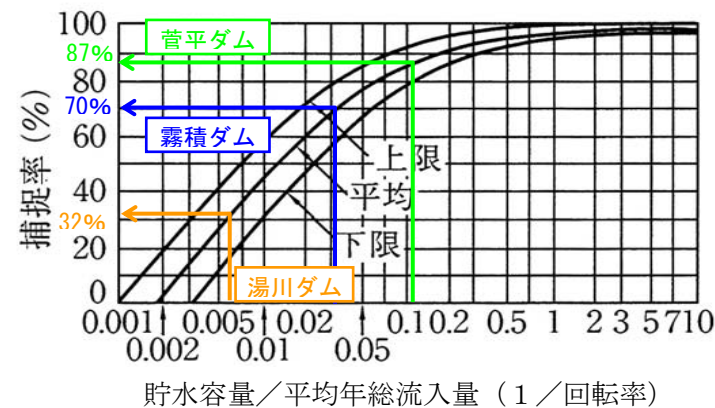


図 1.5 Brune 曲線

注) 「水理公式集」土木学会 p331 に加筆

3) 流砂を構成する各成分と粒度との関係

水理学の分野では、流砂は構成材料と運動形態から以下の 3 成分（掃流砂・浮遊砂・ウォッシュロード）に区分される。

- ① 掃流砂：河床近傍を滑動（すべる）・転動（転がる）・躍動（跳ねる）しながら、河床を構成する土砂と入れ替わりながら移動する、粒径の粗い土砂（主に礫）。
- ② 浮遊砂：流れの強さ（掃流力）によって、浮遊・沈降を繰り返しながら移動する、粒径の比較的細かい土砂（主に砂）。
- ③ ウォッシュロード：浮遊砂のうち、一度浮遊するとなかなか沈降せずに移動する、粒径の微細な土砂（主にシルト・粘土）。

4) 流砂に占めるウォッシュロードの割合

「多目的ダムの建設」には、国土交通省管理の 26 ダムにおける貯水池内ボーリング資料から求められた堆砂に占める粒度構成割合（空隙込み）が示されている。これによれば、堆砂に占めるシルト・粘土の割合は 30～90%（平均 54%）であり、ダムによってばらつきが大きい（図 1.6）。

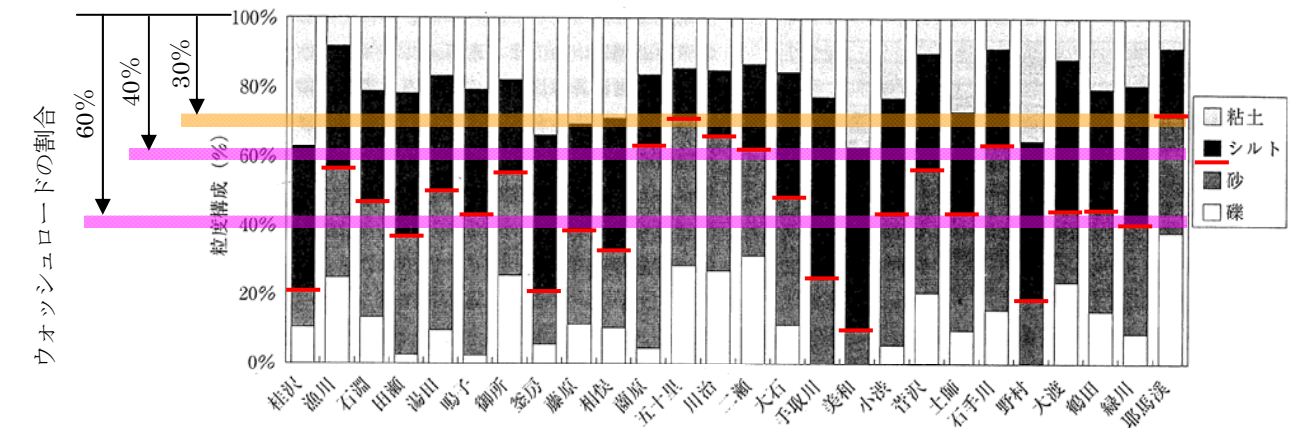


図 1.6 調査ダムの堆砂の粒度構成

注) 「多目的ダムの建設 平成 17 年版【調査Ⅱ編】」p216, 図 17-18 に加筆

—: 各棒グラフにおいて、ウォッシュロードの主体をなす「シルト・粘土」と、それ以外の「砂・礫」との境界を示す。

一方、「水系土砂収支分析のための『有効粒径集団』の考え方」（土木技術資料，1995）によれば、河川による土砂運搬作用により形成された沖積平野（土砂が深海へほとんど流出しない内湾域を対象）におけるボーリング資料から、流入土砂に占めるシルト・粘土の割合は、50%～65%（空隙込み）とされている。

以上より、本検討では、近傍類似ダムの流入土砂について粒度分布等のデータがないことから、堆砂に占めるウォッシュロードの割合を一律に 50%と仮定した。

5) 比流砂量（期待値）の算定

求められた捕捉率と、「1.2 近傍類似ダム堆砂データの整理」の表 1.5 で整理した比堆砂量（期待値）から、次式により比流砂量（期待値）を算定した。

計算結果を表 1.7 に示す。各ダムの比流砂量（期待値）は、304.7～859.3m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年である。

$$\text{比流砂量（期待値）} = \text{比堆砂量（期待値）} \div \text{捕捉率}$$

$$\text{捕捉率} = 0.5 + 0.5 \times \text{Brune 捕捉率（平均）}$$

表 1.7 近傍類似ダムの比流砂量

ダム名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	Brune 捕捉率 (平均)	捕捉率	比堆砂量（期待値）	比流砂量（期待値）
				(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)	(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)
霧積	20.4	70%	85.0%	730.4	859.3
湯川	147.2	32%	66.0%	201.1	304.7
菅平	32.2	87%	93.5%	313.7	335.5



1.3 回帰分析によるハッ場ダム比流砂量の検討

(1) 目的

近傍類似ダムについて求めた比流砂量（期待値）には、ばらつきが認められる。これは、流域の地質以外にも、地形等の他の堆砂影響因子が異なるためと考えられる。

このため、「多目的ダムの建設」を参考に、**比流砂量（期待値）を目的変数とし、堆砂影響因子を説明変数として回帰分析を行い、ハッ場ダムの比流砂量を検討することとした。**

(2) 回帰分析に用いるパラメータ

「多目的ダムの建設」を基本として、近年の堆砂量推定に関する文献を参考に、表 1.8 に示す 19 項目の堆砂影響因子を説明変数（パラメータ）として整理した。

このうち、「地質構成比率」は、近傍類似ダム選定基準でほぼ同等と評価していること、「自然裸地面積率」は近傍類似ダムにおいて 0.000%であることから、これら 2 つのパラメータを除いた 17 個のパラメータを回帰分析に用いることとした。

【参考文献】

- ※1:「多目的ダムの建設 第3巻 調査Ⅱ編（平成17年度版）」(財)ダム技術センター
- ※2:「地質特性因子等に基づく堆砂量の推定」ダム技術No.191（2002.8）
- ※3:「ダム貯水池堆砂量の推計精度向上のための一方策」ダム技術No.203（2003.8）
- ※4:「ダム排砂対策の現状と課題」大ダム第176号（2001.7）

表 1.8 本検討で用いたパラメータとその算定方法

現象	影響因子 (I)	影響因子 (I)	パラメータ	本検討における算定方法	使用データ	
流入土砂関係	土砂生産基盤	傾斜	地質	地質構成比率※1	各ダム流域の地質構成比率を次式により算定し、近傍類似ダム選定に考慮した。 各地質区分の構成比率 = 当該地質区分該当メッシュ数 / 全抽出メッシュ数	国土数値情報 「土地分類メッシュ」
			平均標高※3	流域の平均標高は、各ダム流域について抽出される各3次メッシュの平均標高の平均値を算出した。 流域平均標高(m) = Σ(3次メッシュ平均標高(m)) / 抽出したメッシュ数	国土数値情報 「標高・傾斜度メッシュ」	
			平均起伏量※4	各3次メッシュの起伏量は、最高標高と最低標高との差として求めた。また、「平均起伏量」としては、各ダム流域について抽出される3次メッシュの起伏量の平均値を求めた。 3次メッシュ起伏量 = 3次メッシュの最高標高(m) - 3次メッシュの最低標高(m) 平均起伏量 = Σ(3次メッシュ起伏量(m)) / 抽出したメッシュ数	国土数値情報 「標高・傾斜度メッシュ」	
			斜面勾配※1	各ダム流域について抽出した3次メッシュの最大斜面勾配を用いて、次式により「斜面勾配」を求めた。 斜面勾配 = Σ(3次メッシュ最大斜面勾配(°)) / 抽出したメッシュ数	国土数値情報 「標高・傾斜度メッシュ」	
			山地部地形勾配※2	各ダム流域について抽出した3次メッシュのうち、3次メッシュの平均標高が流域の平均標高よりも高いメッシュを抽出し、次式により「山地部地形勾配」を求めた。 山地部地形勾配 = Σ(平均標高以上のメッシュ傾斜の中央値) / (平均標高以上のメッシュ数)	「標高・傾斜度メッシュ」	
			地貌係数※4	流域の「平均標高」と「平均起伏量」との積として算定した。 地貌係数 = 平均標高(m) × 平均起伏量(m) / 100	国土数値情報 「標高・傾斜度メッシュ」	
			起伏度※3	起伏度は、各流域について、3次メッシュの起伏量分布(ヒストグラム)から、最頻値よりも大きな起伏量階級(階級幅50m)とその度数の積として、次式により算定した。 起伏度 = Σ(最頻値より大きな起伏量(階級) × 度数) / 抽出したメッシュ数	国土数値情報 「標高・傾斜度メッシュ」	
			平均標高 × 起伏度※3	流域の「平均標高」と「起伏度」との積として算定した。 平均標高 × 起伏度 = 平均標高 × 起伏度 / 100	国土数値情報 「標高・傾斜度メッシュ」	
			起伏量比※4	各ダム流域について抽出した3次メッシュの最高標高と最低標高との高度差を流路延長で除して求めた。このとき、流路延長は、20万分の1数値地図において描かれている河川を示す線の上端と貯水池末端との水平距離として算定した。 起伏量比 = (流域の最高標高(m) - 最低標高(m)) / 流路延長(m)	国土数値情報 「標高・傾斜度メッシュ」 数値地図 「20万分の1地勢図」	
			谷密度※4	各3次メッシュの谷密度は、2×2メッシュの辺を通る谷の数として整理されているため、次式により谷密度の平均値求めた。 谷密度 = Σ(3次メッシュ谷密度) / (抽出したメッシュ数) / 4(本/km)	国土数値情報 「谷密度メッシュ」	
	崩壊地	植性	森林分布率※1,※2	自然度6～9に該当するメッシュを「森林あり」と判断して、各ダム流域について抽出された3次メッシュのうち、自然度6～9に該当するメッシュの割合を「森林分布率」と定義し、次式により算定した。 森林分布率 = Σ(自然度6～9に該当する3次メッシュ) / 抽出したメッシュ数	「第5回自然環境保全基礎調査植生調査」(環境省)	
			荒地面積率※1	「土地利用メッシュ(平成9年版)」を用いて、次式により算定した。 荒地面積率 = Σ(抽出した3次メッシュの荒地面積(m <sup>2</sup> )) / Σ(抽出したメッシュの面積(m <sup>2</sup> ))	国土数値情報 「土地利用メッシュ(平成9年版)」	
			崩壊地面積率※1	空中写真判読により流域内の崩壊地を抽出し、次式により崩壊地面積率を求めた。 崩壊地面積率 = 流域内の崩壊地面積(km <sup>2</sup> ) / 流域面積(km <sup>2</sup> )	空中写真 (1984～2004年撮影)	
	自然裸地面積率※1	環境省による植性データを用いて、次式により算定した。ただし、データ整理の結果、近傍ダムについては、自然裸地面積がゼロであった。 自然裸地面積率 = Σ(自然裸地に該当する3次メッシュ) / 抽出したメッシュ数	「第5回自然環境保全基礎調査植生調査」(植生データ)			
	土砂輸送	水文	最大日雨量※4	ダム管理日報に記載のある最大日雨量の最大値とした。	ダム管理年報 (各ダム竣工年～2009年)	
			平均年降水量※1,※2	ダム管理日報に記載のある年間降水量の平均値を求めた。	ダム管理年報 (各ダム竣工年～2009年)	
		河道	流域面積※1	「ダム年鑑」による公表値を用いた。	ダム年鑑等	
			河床勾配※1,※2	カシミール3Dを利用して、20万分の1数値地図において描かれている河川沿いの縦断面を作成し、河川を示す線の上端標高と貯水池末端標高との高度差(比高)および水平距離(流路延長)から、次式により河床勾配を求めた。 河床勾配 = 比高(m) / 流路延長(m) 比高 = 河川の上端標高(m) - 貯水池末端標高(m)	数値地図「50mメッシュ標高」, 「20万分の1地勢図」	
	貯水池捕捉関係	貯水池回転率※1,※3	次式により、貯水池の回転率を求めた。 回転率 = 平均年総流入量 / (総貯水容量 - 洪水調節容量)	ダム管理年報 (各ダム竣工年～2009年)		

注) 各パラメータは、左の【参考文献】に示されているものを採用（表中の※番号は参考文献に一致）。

(3) ハッ場ダム比流砂量の検討

回帰分析結果からハッ場ダムの比流砂量を検討する際には、下記のようなパラメータによる推定値は参考としないことが適当と考えられる。

- ① 相関関係が一般的な傾向とは逆（逆相関）を示しているパラメータ（表 1.9 中の■）
- ② 近傍類似ダムに比べてハッ場ダムの値が 2 倍以上大きく、推定値が外挿となるパラメータ（表 1.9 中の■）

上記以外の 11 個のパラメータによる回帰分析の結果、相関係数(R)が 0.7 以上となるパラメータによる推定値は 239～957m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年と幅を持つが、ハッ場ダムの比流砂量としては、これらの平均値として 555 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年が妥当と考えられる（図 1.7）。

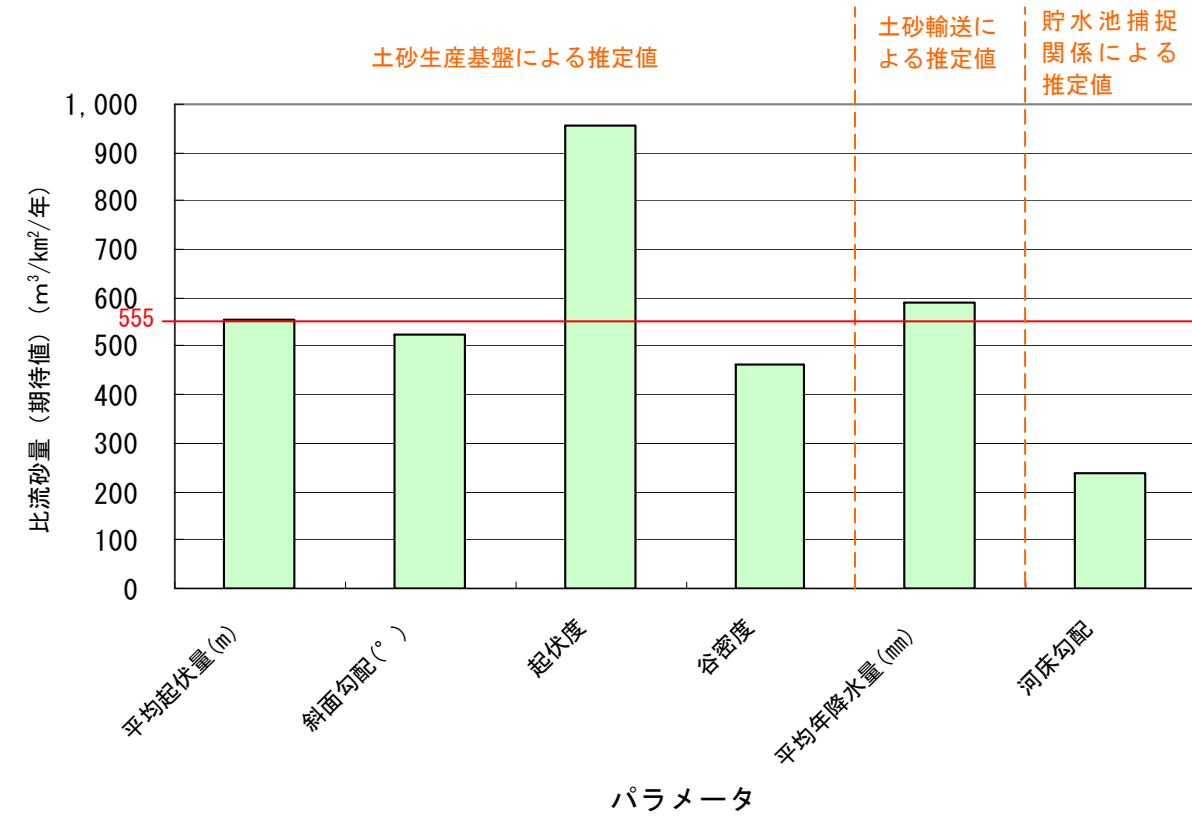


図 1.7 各パラメータによるハッ場ダム比流砂量の推定値（相関係数 R ≥ 0.7 による）

注) 逆相関を示すパラメータ、推定値が外挿となるパラメータ、相関係数 R < 0.7 のパラメータを除く

表 1.9 回帰分析結果

現象	影響因子 (I)	影響因子 (II)	パラメータ	相関係数 (R)	ハッ場ダム比流砂量の推定値 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)	備考	
流入土砂関係	土砂生産基盤	地質	—	—	—	近傍類似ダム選定に考慮	
		傾斜	平均標高(m)	■	-0.621	411	逆相関
			平均起伏量(m)	■	0.905	556	正の相関
			斜面勾配(°)	■	0.911	525	正の相関
			山地部地形勾配	■	0.564	686	正の相関
			地貌係数	■	0.328	559	正の相関
			起伏度	■	0.954	957	正の相関
			平均標高×起伏度	■	0.983	1,763	正の相関, 推定値は外挿
			谷密度	■	0.986	463	正の相関
		起伏量比	■	0.454	336	正の相関	
	植性	■	0.857	568	逆相関		
	崩壊地	崩壊地面積率(%)	■	-0.496	34	逆相関	
		荒地面積率(%)	■	-0.718	501	逆相関	
	土砂輸送	水文	最大日雨量(mm)	■	0.282	477	正の相関
			平均年降水量(mm)	■	0.955	592	正の相関
河道		流域面積	■	-0.738	145	負の相関, 推定値は外挿	
		河床勾配	■	0.754	239	正の相関	
貯水池捕捉関係		回転率	■	-0.433	593	負の相関	
相関係数0.7以上の平均値				—	555		

■ 逆相関：一般的に考えられる相関とは正負が逆を示している  
 ■ 回帰式による推定値が外挿となるパラメータ

## 2. 近傍類似ダムから推定した比流砂量に基づく堆砂量の推定

ハッ場ダムの堆砂容量について、「1.3 回帰分析によるハッ場ダム比流砂量の検討」で推定した比流砂量 555m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年に基づき、貯水池の河床変動計算を行い、100年後の堆砂量を推定する。

### 2.1 検討条件

#### (1) 計算条件一覧

計算条件の一覧を表 2.1 に示す。

表 2.1 ハッ場ダム堆砂予測計算条件一覧

大項目	小項目	条件
計算手法	水位計算	一次元不等流計算
	河床変動計算	一次元非平衡河床変動計算（混合砂モデル）
対象期間	予測計算	昭和 33 年(1958)～平成 19 年(2007)を 2 回繰り返し（100 年間） 1 回目の途中（50 年目の洪水期制限水位時 H19/7/1）に 1/50 確率洪水 2 回目の途中（100 年目の洪水期制限水位時 H19/7/1）に計画高水洪水相当 を挿入する。
対象区間	予測計算	ハッ場ダムサイト No. 0. 6～No. 9. 49 区間 白砂川 No. S0. 2～No. S1. 6 区間
計算断面	地形データ	横断測量データ（造成・護岸工事断面）よりモデル断面を作成
	初期河床高	横断測量データより平均河床高を算出
設定水位	下流端水位	ハッ場ダム利水計算によるダム貯水位データ
流量ハイドロ	予測計算	日/時間流量データ 日データは利水計算による。時間データは実績流量による。
土砂粒度分布	河床材料	S58 調査結果のうち、給砂地点近傍の河床の粒度をもとに、吾妻川と白砂川でそれぞれ の粒度分布を設定
	流域起源（主に砂）	S58 調査結果のうち、堆積環境にある河床の粒度をもとに、吾妻川と白砂川でそれぞれ の粒度分布を設定
	流域起源（ウォッシュロード）	与喜屋・貝瀬の各地点の H6～H19 年の SS 粒度分布調査結果の平均
上流端流入土砂量	全流砂量	比流砂量 555m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年より、100 年間で 37, 384 千 m <sup>3</sup>
	河床起源（主に礫）	平衡給砂（上流端断面の等流計算により、その水理量見合いで、掃流砂・浮遊砂 量を給砂する）
	流域起源（主に砂）	Qs = α・Q <sup>1.5</sup> 形式の式によって給砂。 100 年間の全流砂量 - {河床起源（主に礫）+ 流域起源（ウォッシュロード）} の量 を給砂
	流域起源（ウォッシュロード）	与喜屋・貝瀬地点における SS 観測によって得られた式で算定：Q <sub>上</sub> = α × Q <sup>β</sup> 本川（吾妻川・与喜屋）：Q <sub>上</sub> = 4. 5484 × 10 <sup>-8</sup> × Q <sup>2. 8788</sup> （全流量対象） 支川（白砂川）：Q <sub>上</sub> = 7. 5349 × 10 <sup>-7</sup> × Q <sup>1. 9342</sup> （全流量対象）
その他	粗度係数	0. 040（全区間）
	レジーム則	4. 0（背水影響のない区間）
	空隙率	掃流砂・浮遊砂 0. 25、ウォッシュロード 0. 70

#### (2) 計算手法

水位計算は一次元不等流計算、河床変動計算は一次元河床変動計算（混合砂モデル）による。  
基礎式を以下に示す。

##### 1) 1次元不等流計算

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{A^2} + h + Z \right) + i_e = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

ここに、 $Q$ ：流量、 $A$ ：流積、 $h$ ：水深、 $Z$ ：河床高、 $i_e$ ：エネルギー勾配

##### 2) 流砂の連続式

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \cdot \frac{\partial(Q_{BB} + Q_{BS})}{\partial x} = 0$$

ここに、 $\lambda$ ：空隙率（間隙率）、 $Q_{BB}$ ：掃流砂量、 $Q_{BS}$ ：浮遊砂量

##### 3) 掃流砂量、浮遊砂量

$$\frac{q_{bkk}}{u_{*e} D_k} = P_{bk} \times 17 \tau_{*ek} \left( 1 - \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*k}} \right) \left( 1 - \frac{u_{*ck}}{u_*} \right) \quad (\text{掃流砂量})$$

$$\frac{C_k}{C_{ek}} = \exp \left\{ -15 \left( \frac{z-a}{h} \right) \left( \frac{W_{sk}}{u_*} \right) \right\} \quad (\text{浮遊砂濃度})$$

ここに、 $D_k$ ：粒径階  $k$  の粒径、 $P_{bk}$ ：交換層における掃流砂の粒径  $D_k$  の含有率、 $\tau_{*k}$ 、 $\tau_{*ck}$ ：それぞれ粒径  $D_k$  に対する無次元掃流力および無次元限界掃流力、 $u_*$ ：摩擦速度、 $u_{*ck}$ ：混合砂の粒径別の限界摩擦速度、 $u_{*ek}$ 、 $\tau_{*ek}$ ：それぞれ粒径  $D_k$  に対する有効摩擦速度および無次元有効掃流力、 $u_{*e}$ ：有効摩擦速度、 $C_k$ ：底面からの高さ  $z$  における濃度、 $C_{ek}$ ：芦田・道上の式から求められる平衡基準面濃度、 $h$ ：水深、 $a$ ： $a = 0.05h$  である。

#### (3) モデル断面

ハッ場ダムの堆砂形状予測計算における基礎データとして、各地区護岸工事完成図等をもとに横断図を作成した。

#### (4) 時系列流量・貯水位データ

昭和 33 年（1958 年）～平成 19 年（2007 年）の 50 ヶ年を 2 回繰り返し、100 年流況とする。

平常時の流量は、日流量を使用した（長野原取水堰地点、須川（広池）取水堰地点など発電取水堰地点では河川流量に発電所取水量を加えたものを平常時流量とし、ダム運用は、現在想定されている方法とした）。

また、洪水データについては、ダム流域 100mm/3 日以上 の 62 洪水の実績流量を時間データとして追加した。実績流量は S33～S63 を村上地点、H1～H19 を岩島地点の流量を使用し、流域面積比によってダム地点流量に換算した。

洪水調節ルールは、ダム流入量のピークまで一定量放流、ピーク後一定率放流を行う一定量一定率方式とし、洪水調節開始流量 200m<sup>3</sup>/s、最大放流量を 1,000m<sup>3</sup>/s とした。

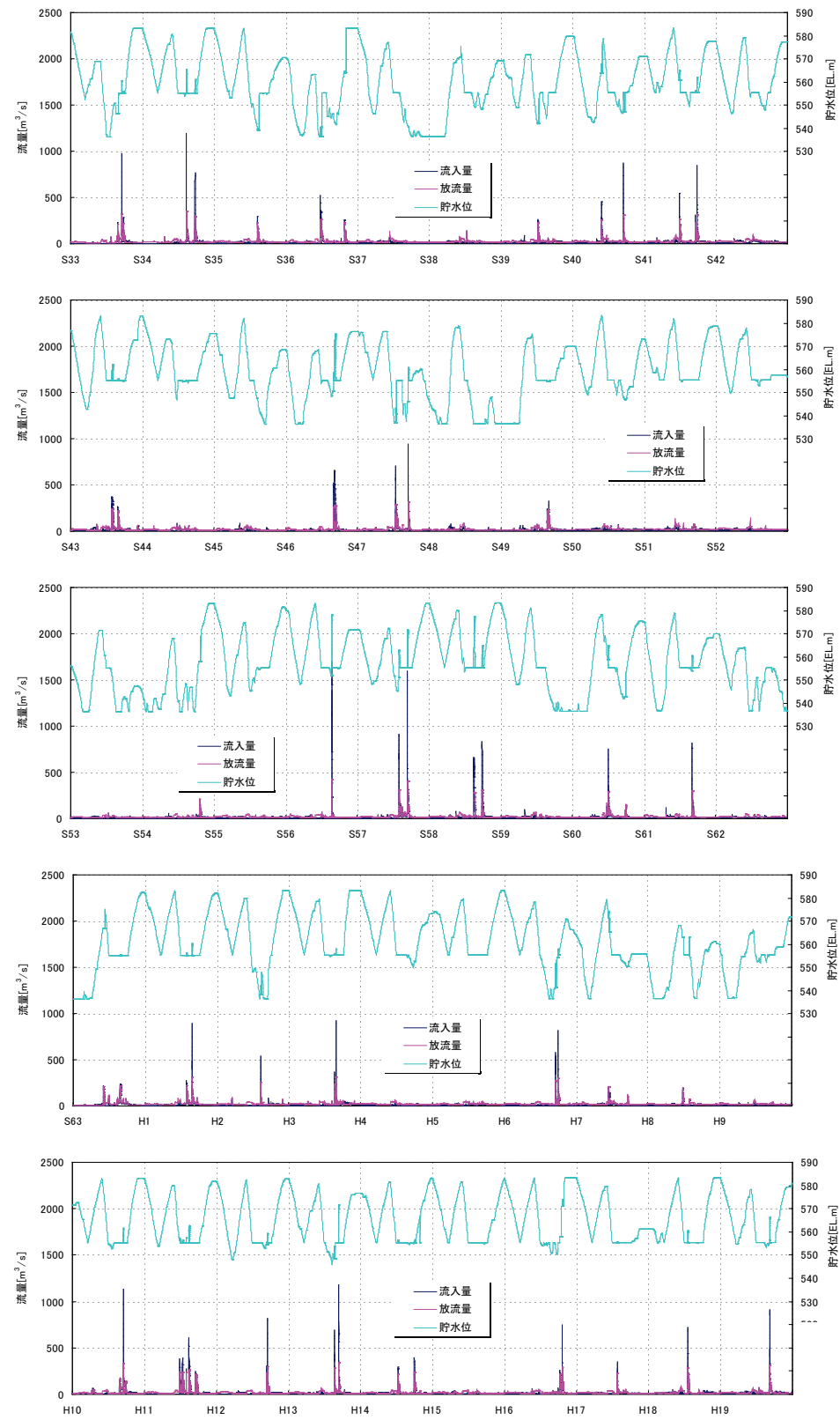


図 2.1 流況時系列グラフ

50年間で2回繰り返した100年間の流況では、最大流入量が1,700m<sup>3</sup>/sであり、1/50確率規模以上の洪水が含まれないことから、1/50確率洪水とダム地点の計画高水洪水相当を1つずつ挿入することとした。

そこで、1/50確率洪水を50年目の洪水期制限水位時(H19/7/1)に、ダム地点の計画高水洪水相当を100年目の洪水期制限水位時(H19/7/1)に挿入することとした。

挿入する洪水波形は、1/50確率洪水と計画高水洪水相当(図2.2b参照)を使用した。

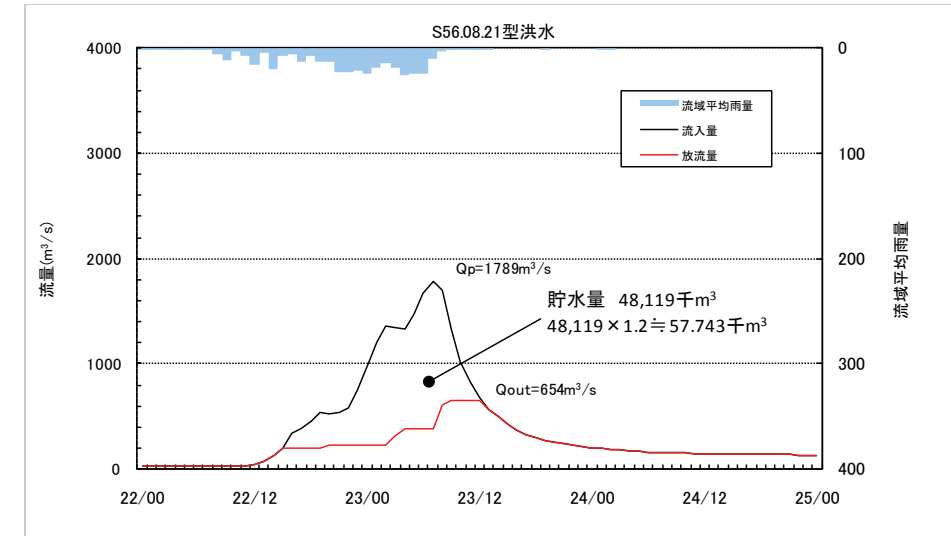


図 2.2a 1/50 確率洪水波形

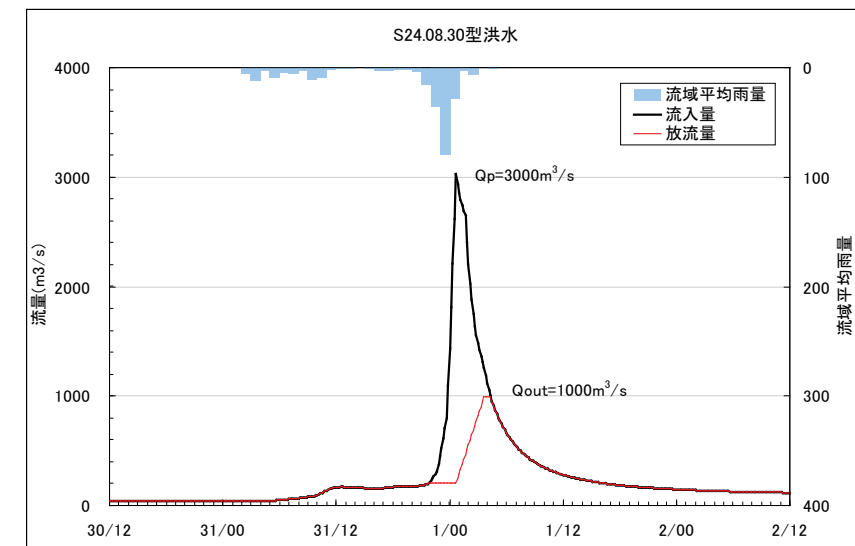


図 2.2b 計画高水洪水相当波形

## 2.2 予測計算結果

100年間の全流砂量は確率比流砂量からの推定値とし、河床変動計算を行うことによって八ッ場ダムの100年間の堆砂量を予測した。

### (1) 堆砂量

100年間の計算における累計堆砂量は、表2.2、図2.3に示すとおり、18,054千m<sup>3</sup>となっており、計画堆砂容量の17,500千m<sup>3</sup>と大きく変わるものではない。

表2.2 100年計算における貯水池累計堆砂量

年	経過年数	貯水池堆砂量 [x1000 m <sup>3</sup> ]	貯水池累計堆砂量 [x1000 m <sup>3</sup> ]	年	経過年数	貯水池堆砂量 [x1000 m <sup>3</sup> ]	貯水池累計堆砂量 [x1000 m <sup>3</sup> ]
S33	1年後	166.76	166.76	S33	51年後	171.40	8,684.10
S34	2年後	427.79	594.54	S34	52年後	429.61	9,113.70
S35	3年後	11.20	605.74	S35	53年後	8.92	9,122.62
S36	4年後	76.55	682.29	S36	54年後	45.38	9,168.00
S37	5年後	1.63	683.92	S37	55年後	2.66	9,170.66
S38	6年後	9.32	693.24	S38	56年後	9.14	9,179.79
S39	7年後	19.40	712.64	S39	57年後	16.22	9,196.01
S40	8年後	205.90	918.54	S40	58年後	186.31	9,382.32
S41	9年後	229.95	1,148.49	S41	59年後	216.73	9,599.05
S42	10年後	7.05	1,155.54	S42	60年後	7.55	9,606.60
S43	11年後	116.94	1,272.48	S43	61年後	111.95	9,718.55
S44	12年後	6.92	1,279.40	S44	62年後	6.80	9,725.35
S45	13年後	7.41	1,286.81	S45	63年後	7.41	9,732.76
S46	14年後	404.65	1,691.45	S46	64年後	398.56	10,131.33
S47	15年後	278.17	1,969.62	S47	65年後	233.06	10,364.39
S48	16年後	7.10	1,976.72	S48	66年後	7.15	10,371.54
S49	17年後	26.12	2,002.84	S49	67年後	25.06	10,396.60
S50	18年後	5.57	2,008.41	S50	68年後	5.57	10,402.17
S51	19年後	11.56	2,019.97	S51	69年後	11.36	10,413.53
S52	20年後	4.10	2,024.07	S52	70年後	4.15	10,417.68
S53	21年後	2.50	2,026.57	S53	71年後	2.49	10,420.17
S54	22年後	15.01	2,041.58	S54	72年後	14.07	10,434.24
S55	23年後	2.03	2,043.61	S55	73年後	2.57	10,436.82
S56	24年後	1374.03	3,417.64	S56	74年後	1350.05	11,786.86
S57	25年後	972.99	4,390.63	S57	75年後	952.55	12,739.41
S58	26年後	535.86	4,926.49	S58	76年後	518.79	13,258.20
S59	27年後	2.66	4,929.15	S59	77年後	3.80	13,262.00
S60	28年後	133.16	5,062.31	S60	78年後	125.07	13,387.07
S61	29年後	155.82	5,218.13	S61	79年後	136.96	13,524.03
S62	30年後	-0.38	5,217.75	S62	80年後	1.38	13,525.41
S63	31年後	66.86	5,284.62	S63	81年後	64.40	13,589.81
H1	32年後	141.21	5,425.82	H1	82年後	129.83	13,719.64
H2	33年後	31.70	5,457.52	H2	83年後	16.40	13,736.04
H3	34年後	130.41	5,587.93	H3	84年後	127.03	13,863.07
H4	35年後	2.31	5,590.25	H4	85年後	2.39	13,865.46
H5	36年後	4.47	5,594.72	H5	86年後	4.45	13,869.91
H6	37年後	156.15	5,750.87	H6	87年後	130.78	14,000.69
H7	38年後	12.98	5,763.85	H7	88年後	13.07	14,013.76
H8	39年後	12.14	5,775.99	H8	89年後	11.95	14,025.72
H9	40年後	2.44	5,778.43	H9	90年後	2.45	14,028.16
H10	41年後	215.94	5,994.37	H10	91年後	194.31	14,222.47
H11	42年後	181.98	6,176.34	H11	92年後	170.71	14,393.18
H12	43年後	125.61	6,301.95	H12	93年後	110.61	14,503.79
H13	44年後	481.11	6,783.06	H13	94年後	462.37	14,966.16
H14	45年後	44.10	6,827.16	H14	95年後	40.75	15,006.91
H15	46年後	3.64	6,830.80	H15	96年後	4.10	15,011.01
H16	47年後	125.03	6,955.83	H16	97年後	118.69	15,129.70
H17	48年後	3.23	6,959.06	H17	98年後	7.03	15,136.73
H18	49年後	103.05	7,062.11	H18	99年後	95.84	15,232.57
H19	50年後	1450.58	8,512.69	H19	100年後	2821.14	18,053.71

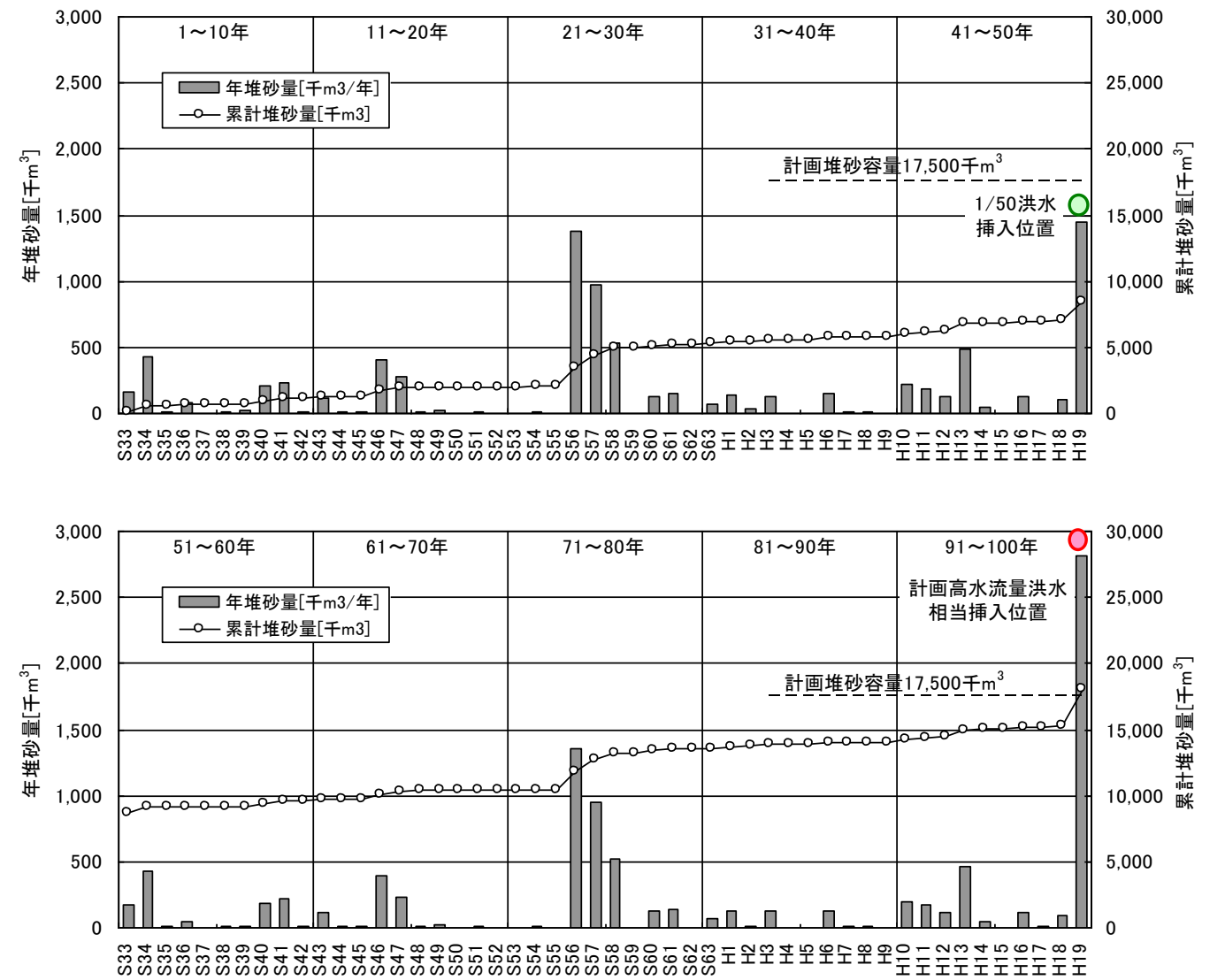


図2.3 100年計算における年堆砂量と累計堆砂量